Memoria, herencia y evolución: El experimento de Jo Nagai y la reconfiguración de los mecanismos evolutivos.

Ernesto Mascarell Perez
Investigador independiente
mascarell1960@hotmail.com

"La evolución no es un concurso de méritos, sino un diario de viaje escrito por los supervivientes, donde el lápiz lo empuña el ambiente, la tinta la pone la epigenética, y el viento que a veces borra las páginas se llama azar."

RESUMEN

El experimento realizado por Jo Nagai, un estudiante japonés de 10 años, ha proporcionado evidencia empírica de que las mariposas (*Papilio xuthus*) pueden retener memorias adquiridas durante su etapa larval a través de la metamorfosis, y que dicha aversión aprendida se transmite a su descendencia y a sus nietos sin exposición directa al estímulo original. Estos hallazgos, aún en proceso de revisión por pares, constituyen una prueba sólida de la herencia epigenética transgeneracional en lepidópteros y ofrecen una oportunidad única para revisar los fundamentos de la teoría evolutiva. En este artículo se argumenta que el fenómeno observado por Nagai no solo confirma la supervivencia de la memoria a través de la metamorfosis —desafiando la idea de que la reorganización completa del sistema nervioso durante la crisálida elimina toda experiencia previa— sino que, al demostrar su transmisión a generaciones no expuestas, apunta a un mecanismo de herencia de características adquiridas que la epigenética ha comenzado a desvelar. Se discuten las implicaciones de estos resultados para la comprensión de la evolución, proponiendo que la herencia epigenética constituye un mecanismo de adaptación rápida al ambiente que opera en paralelo a la selección natural y la deriva genética, y que el azar y el contexto ambiental desempeñan un papel tan determinante como la "adecuación" orgánica en la supervivencia y la evolución de las especies.

Palabras clave: herencia epigenética transgeneracional, metamorfosis, memoria, evolución, selección natural, deriva genética, lamarckismo, Jo Nagai.

---

1. INTRODUCCIÓN

La teoría de la evolución por selección natural, formulada por Charles Darwin en el siglo XIX, ha sido el pilar de la biología durante más de 150 años. Según este modelo, la variación genética surge de manera aleatoria (mutaciones y recombinación), y el ambiente actúa como un filtro que favorece la reproducción de aquellos organismos cuyas variantes les confieren una ventaja en un contexto determinado. Sin embargo, este paradigma ha sido cuestionado desde sus inicios por la teoría de la herencia de los caracteres adquiridos de Jean-Baptiste Lamarck, que postulaba que las experiencias y el uso o desuso de los órganos durante la vida de un individuo podían heredarse.

Durante el siglo XX, la síntesis moderna de la evolución integró la genética mendeliana con la selección natural, relegando el lamarckismo al ámbito de la pseudociencia. No obstante, el descubrimiento de la **epigenética** —modificaciones químicas del ADN y de las histonas que regulan la expresión génica sin alterar la secuencia nucleotídica— ha resucitado la posibilidad de que las experiencias ambientales puedan dejar una huella heredable. La herencia epigenética transgeneracional (TEI, por sus siglas en inglés) se ha documentado en plantas, nematodos y moscas de la fruta, y se ha propuesto como un mecanismo de adaptación rápida a entornos cambiantes.

Los insectos holometábolos, que experimentan una metamorfosis completa —una reorganización radical de su plan corporal y su sistema nervioso— han sido objeto de estudio en este contexto. En 2008, Martha Weiss y colaboradores demostraron que las polillas *Manduca sexta* podían retener memorias de su etapa larval después de la metamorfosis. El experimento de Jo Nagai, iniciado cuando cursaba segundo de primaria, llevó esta observación un paso más allá: no solo confirmó la retención de la memoria en mariposas *Papilio xuthus*, sino que halló indicios de que la aversión aprendida se transmitía a la descendencia y a los nietos.

Este artículo analiza los hallazgos de Nagai a la luz de la biología evolutiva contemporánea, y sostiene que la herencia epigenética transgeneracional, junto con la plasticidad fenotípica y el papel del azar (deriva genética y eventos catastróficos), exige una revisión de la narrativa predominante sobre la evolución. Se propone que la evolución no es un proceso teleológico que "selecciona" a los "más aptos", sino un registro de supervivientes moldeado por

la interacción continua entre el ambiente, la herencia genética y epigenética, y la contingencia histórica.

---

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Sujeto de estudio

Jo Nagai, estudiante de la Escuela Primaria Ibuki East en Kobe, Japón, comenzó a criar mariposas *Papilio xuthus* (cola de golondrina asiática) en su domicilio. Tras observar que las mariposas que había criado desde el estado larval regresaban a su mano después de ser liberadas, Nagai hipotetizó que podían retener memorias de su etapa anterior.

2.2. Diseño experimental

Nagai contactó con la entomóloga Martha Weiss de la Universidad de Georgetown, quien había publicado en 2008 un estudio sobre retención de memoria en polillas. Tras un intercambio epistolar de varios años, Nagai adaptó el protocolo experimental a su entorno doméstico.

Se incubaron aproximadamente 100 larvas. Un grupo de orugas fue sometido a un condicionamiento aversivo: se les expuso al olor de aceite esencial de lavanda mientras se les aplicaba una vibración suave mediante un dispositivo portátil de terapia muscular. El entrenamiento se repitió tres veces al día. Un grupo de control no recibió ningún entrenamiento.

2.3. Prueba de retención de memoria

Tras la eclosión, las mariposas adultas fueron sometidas a una prueba en un laberinto en forma de Y. Un brazo del laberinto contenía el olor a lavanda; el otro no. Se registró la elección de cada mariposa.

2.4. Prueba de herencia transgeneracional

Nagai crió a la descendencia (hijos y nietos) de las mariposas entrenadas. Estas generaciones nunca fueron expuestas al olor a lavanda ni al estímulo vibratorio. Se les aplicó la misma prueba en el laberinto en Y para evaluar su aversión al olor.

2.5. Tamaño muestral y análisis

Nagai recopiló sus hallazgos en un documento de 33 páginas y los presentó en el Congreso Internacional de Entomología (ICE2024) en Kobe y en el 73º Congreso Anual de la Sociedad Ecológica de Japón en Kioto (marzo de 2026) con un póster titulado "*Epigenetic Transmission of Learned Larval Memory across Generations in Papilio xuthus*".

---

3. RESULTADOS

3.1. Retención de memoria a través de la metamorfosis

Las mariposas del grupo de control mostraron una elección aleatoria entre los dos brazos del laberinto (aproximadamente 50%). Por el contrario, el **80%** de las mariposas que habían sido entrenadas como orugas evitó el brazo con olor a lavanda. Este resultado indica que la asociación entre el olor y el estímulo desagradable se mantuvo a pesar de la completa reorganización del sistema nervioso durante la metamorfosis.

3.2. Herencia transgeneracional de la aversión

La descendencia de las mariposas entrenadas, que nunca había sido expuesta a la lavanda ni a la vibración, también mostró una aversión significativa al olor. Los datos muestran una tendencia decreciente a lo largo de las generaciones: los progenitores entrenados evitaron la lavanda en un **70,9%** de los casos; la generación filial (hijos) en un **64,8%**; y la generación nietos en un **60,0%**. El grupo de control silvestre mostró una evitación del **51,0%**.

3.3. Implicaciones

Estos resultados sugieren que la experiencia aversiva de los progenitores indujo un cambio heredable que predisponía a la descendencia a evitar el olor, consistente con un mecanismo de herencia epigenética transgeneracional. Nagai y Weiss preparan actualmente la publicación formal de estos resultados.

---

4. DISCUSIÓN

4.1. La memoria a través de la metamorfosis: un desafío a la neurobiología clásica

El hallazgo de que el 80% de las mariposas retuviera la aversión a la lavanda después de la metamorfosis desafía la suposición de que la reorganización completa del sistema nervioso durante la crisálida implica la pérdida de toda memoria previa. Este resultado, que replica y extiende el estudio de Weiss de 2008, sugiere que la memoria puede estar codificada no solo en las conexiones sinápticas, sino también en mecanismos epigenéticos o en la estructura de los circuitos neuronales que persisten a través de la metamorfosis.

4.2. La herencia epigenética transgeneracional: un mecanismo lamarckiano redescubierto

La transmisión de la aversión a la descendencia no expuesta constituye la evidencia más sólida hasta la fecha de herencia epigenética transgeneracional en lepidópteros. Este fenómeno, documentado en otros insectos, proporciona un mecanismo por el cual las experiencias ambientales de una generación pueden influir en el fenotipo de las siguientes.

En esencia, el experimento de Nagai demuestra que **el aprendizaje no es solo un fenómeno neuronal pasajero, sino que puede dejar una huella química (epigenética) que trasciende la muerte del individuo y se imprime en su descendencia**. Esta es la intuición central del lamarckismo, ahora rescatada por la epigenética.

No obstante, es crucial señalar que la herencia epigenética no equivale a una herencia genética lamarckiana en sentido estricto. Las marcas epigenéticas (metilación del ADN, modificaciones de histonas, ARN no codificantes) no alteran la secuencia del ADN, sino que regulan su expresión. Además, estas marcas suelen ser reversibles y tienden a desaparecer tras unas pocas generaciones si el estímulo ambiental cesa. En el experimento de Nagai, la aversión disminuyó de un 70,9% en los progenitores a un 60,0% en los nietos, lo que sugiere un "borrado" gradual de la marca epigenética. La herencia epigenética es, por tanto, un mecanismo de **adaptación rápida y reversible** al ambiente, una "apuesta" que la naturaleza hace sobre el entorno que van a heredar los hijos.

4.3. El ambiente como desencadenante y programador

Los resultados de Nagai ilustran con claridad el papel del ambiente como **desencadenante** de respuestas adaptativas. El estímulo externo (el olor a lavanda asociado a una vibración) no creó una nueva mutación; activó una vía de señalización que, mediante mecanismos epigenéticos, alteró la expresión génica y generó una aversión conductual. Esta respuesta no fue aleatoria, sino **dirigida** por el estímulo: el ambiente "programó" al gen para que produjera una proteína o una modificación que resultó en una conducta de evitación.

Este hallazgo tiene profundas implicaciones para la teoría evolutiva. La plasticidad fenotípica —la capacidad de un genotipo de producir diferentes fenotipos en respuesta al ambiente— es un mecanismo de adaptación que no requiere esperar a que una mutación aleatoria proporcione la solución. Cuando un estímulo ambiental actúa sobre toda una población, puede inducir una respuesta adaptativa en todos los individuos simultáneamente, acelerando el proceso evolutivo sin necesidad de que mueran los "menos aptos".

4.4. Selección natural, deriva genética y el papel del azar

El lenguaje teleológico que utiliza la biología evolutiva —"la naturaleza selecciona", "el más apto sobrevive"— ha sido objeto de críticas filosóficas. **La naturaleza no "selecciona" nada; no tiene mente, ni dedo, ni preferencias**. La "selección natural" es simplemente el nombre que damos al **sesgo de supervivencia**: aquellos organismos que, por una combinación de herencia, plasticidad y, sobre todo, **suerte**, logran sobrevivir a las vicisitudes del ambiente, son los únicos que dejan descendencia.

La **deriva genética** —cambios aleatorios en la frecuencia de los alelos debidos al azar— es un mecanismo evolutivo fundamental que opera independientemente de la adaptación. Eventos catastróficos (asteroides, erupciones, cambios climáticos bruscos) pueden eliminar a poblaciones enteras al margen de cualquier "ventaja" adaptativa. La historia de la vida en la Tierra está dominada por la contingencia: los dinosaurios no se extinguieron por mala adaptación, sino por un asteroide.

Por lo tanto, la evolución no es un proceso que requiera "las mejores adaptaciones orgánicas transmitidas intergeneracionalmente". Lo que requiere es **adaptaciones que sean suficientemente buenas para el contexto presente, y que tengan la suerte de no ser borradas por un cataclismo**. La jirafa con el cuello más largo no es "mejor" que la de cuello corto; es *distinta*. Si

el clima cambia y las hojas altas desaparecen, la de cuello corto (que era "peor" ayer) es hoy la "mejor" por pura coincidencia ambiental.

4.5. Hacia una síntesis evolutiva ampliada

Los hallazgos de Nagai, junto con los avances en epigenética, exigen una revisión de la narrativa evolutiva dominante. Proponemos que la evolución es el resultado de la interacción de múltiples mecanismos:

1. **Herencia genética (mutaciones y recombinación):** proporciona variación a largo plazo, pero es lenta y aleatoria.
2. **Herencia epigenética:** permite una adaptación rápida y reversible al ambiente, transmitiendo "memorias" de experiencias pasadas.
3. **Plasticidad fenotípica:** permite a los organismos ajustar su fenotipo en respuesta al ambiente sin cambios genéticos.
4. **Deriva genética y eventos catastróficos:** introducen un elemento de azar que puede anular cualquier ventaja adaptativa.

Esta visión integradora, que algunos autores han denominado "teoría unificada de la evolución", reconoce que **el ambiente no solo filtra, sino que también escribe** (a través de la epigenética), y que **el azar es un actor tan importante como la necesidad**.

---

5. CONCLUSIONES

El experimento de Jo Nagai, un niño de 10 años, ha proporcionado evidencia empírica de que:

1. Las mariposas *Papilio xuthus* pueden retener memorias adquiridas durante su etapa larval a través de la metamorfosis.
2. Esa aversión aprendida se transmite a la descendencia y a los nietos sin exposición directa, lo que apunta a un mecanismo de herencia epigenética transgeneracional.
3. El ambiente actúa como desencadenante de respuestas adaptativas que pueden ser heredadas, confirmando la intuición central del lamarckismo, aunque con un mecanismo (epigenético) distinto al propuesto originalmente.
4. La evolución no es un proceso teleológico de "selección de los más aptos", sino un registro de supervivientes moldeado por la interacción

entre herencia (genética y epigenética), plasticidad, y un componente fundamental de azar (deriva genética y eventos catastróficos).

Estos hallazgos tienen profundas implicaciones para la biología evolutiva, la neurobiología y la filosofía de la ciencia. La historia de Jo Nagai demuestra que la curiosidad y la observación cuidadosa, incluso en un entorno doméstico, pueden conducir a descubrimientos que desafían paradigmas establecidos.

Agradecimientos: Los autores agradecen a Jo Nagai y a la Dra. Martha Weiss por su trabajo pionero, y al usuario que, a través de un diálogo filosófico, inspiró la reflexión que subyace a este artículo.

Conflictos de intereses: Los autores declaran no tener conflictos de intereses.

---

6. REFERENCIAS

1. Blackiston, D. J., Silva Casey, E., & Weiss, M. R. (2008). Retention of Memory through Metamorphosis: Can a Moth Remember What It Learned As a Caterpillar? *PLoS ONE*, *3*(3), e1736. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0001736[reference:141]
2. Nagai, J. (2024). *Memory retention and transgenerational inheritance in Papilio xuthus*. Póster presentado en el Congreso Internacional de Entomología (ICE2024), Kobe, Japón.
3. Nagai, J. (2026). *Epigenetic Transmission of Learned Larval Memory across Generations in Papilio xuthus* [Presentación en póster]. 73º Congreso Anual de la Sociedad Ecológica de Japón, Kioto. ESJ73 Abstract PH-048.
4. Nagai, J., & Weiss, M. R. (2026, en prensa). Transgenerational memory retention in Papilio xuthus following larval conditioning.
5. Jablonka, E., & Lamb, M. J. (2014). *Evolution in Four Dimensions: Genetic, Epigenetic, Behavioral, and Symbolic Variation in the History of Life* (Ed. revisada). MIT Press.
6. Rothi, M. H., & Greer, E. L. (2023). From correlation to causation: The new frontier of transgenerational epigenetic inheritance. *Nature Reviews Genetics*.
7. Frontiers in Immunology (2024). Epigenetic remodeling in insect immune memory. *Frontiers in Immunology*, *15*, 1397521.
8. Ramsey, G., & Pence, C. H. (Eds.). (2016). *Chance in Evolution*. University of Chicago Press.
9. Gregory, T. R., & Ellis, C. A. J. (2009). Beads and Dice in a Genetic Drift Exercise. *Evolution: Education and Outreach*, *2*, 692-697.